



TITLE:

Fundamental study on seismic behavior of hinge types of precast arch culverts in culvert longitudinal direction(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Miyazaki, Yusuke

CITATION:

Miyazaki, Yusuke. Fundamental study on seismic behavior of hinge types of precast arch culverts in culvert longitudinal direction. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21736>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	宮崎 祐輔
論文題目	Fundamental study on seismic behavior of hinge types of precast arch culverts in culvert longitudinal direction （ヒンジ式プレキャストアーチカルバート縦断方向の地震時挙動に関する基礎的研究）		
（論文内容の要旨）			
<p>本論文は、ヒンジ式プレキャストアーチカルバートにおけるカルバート縦断方向の地震時挙動の解明を目的に、特に設計条件の影響に着目して縦断方向の地震時挙動を遠心模型実験により把握し、実験結果を説明可能な三次元動的解析手法を開発した成果を纏めた内容であり、8章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、カルバート構造の概要からはじまり、従来型の場所打ち構造と対比することで、ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの設計概念、構造上の利点、問題点をそれぞれ整理している。本章においては、東日本大震災において発生した旧型のヒンジ式アーチカルバートの被災事例を挙げ、現行の二次元応答変位法では現実には生じた盛土全体系の被害を評価できないことを指摘した。よって、被災に大きく寄与したカルバート縦断方向の地震時挙動の解明を研究目的と位置づけ、本研究はカルバートを含む盛土全体系を考慮可能な新しい耐震性評価手法の基礎資料となると説明している。</p> <p>第2章においては、ヒンジ式アーチカルバートの工法、過去の被災事例、設計様式、耐震性に関する既往の研究を整理している。本章では、特に東日本大震災における損傷事例に関する報告を整理し、被災に寄与した設計条件を分析することで、カルバート縦断方向の地震時挙動において、本研究で着目すべき設計上の課題を既往の研究成果と併せて整理している。そこで、本研究で取り組むべき課題を、遠心模型実験によるカルバート間の連結様式および盛土形状と縦断方向の地震時モードの関係性を把握すること、また、これらの影響を考慮可能な三次元動的解析手法を考案すること、としている。</p> <p>第3章は、本研究で用いる遠心模型実験と弾塑性有限要素解析の概要を述べている。遠心模型実験においては、模型地盤と実施工における締固め基準、剛性土槽における反射波対策、坑口壁模型の基となっている帯鋼補強土壁工法の概要とモデル化の特徴をそれぞれ述べている。弾塑性有限要素解析においては、本研究で用いた、解析コードDBLEAVESの特徴と適用例、土の動的挙動を表現可能なCyclic mobility modelの概要とそのパラメータ決定方法を、それぞれ整理している。</p> <p>第4章においては、カルバート間の連結・分離状態と縦断方向の地震時モードの関係を解明することを目的に実施した遠心模型実験について報告している。本実験においては、2ヒンジ式アーチカルバートを含む両面盛土模型を作製し、遠心加速度50G場で縦断方向の繰り返し加振実験を実施している。実験ケースは、カルバート間の連結の有無およびカルバートの有無の影響を考慮した3ケースである。実験結果によると、カルバートの連結状態により、初期および加振中のカルバート覆工における応力状態が大きく異なることが示された。さらに、底版に作用する鉛直土圧の時刻歴から、カルバート間を分離した場合、個々のカルバートが独立して挙動することが示された。同じく分離条件においては、盛土の変形量は、連結条件より増大し、その変形モードは盛土のみの結果に近づくことが確認された。この理由について、分離条件においては、連結条件に対して縦断方向のカルバートのせん断抵抗が低下し、結果として盛土の変形量を増加させたと、説明されている。本章では、カルバート間の連結条件特有の地震時モードを実験により観測し、耐震性向上の観点から、縦断方向の連結が盛土内のカルバートの挙</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	宮崎 祐輔
<p>動を拘束し、盛土の変形を促進する影響を低減するために有効であることが示された。</p> <p>第5章においては、盛土形状に着目したカルバート縦断方向の地震時挙動に関する遠心模型実験について報告している。本実験においては、3ヒンジ式アーチカルバートを含む道路盛土の坑口部をモデル化し、盛土形状を種々に変えた縦断方向の地震時挙動を遠心加速度50G場で観察している。加振中の応答加速度を分析した結果、プロトタイプ寸法で1.0mの土被りを有する場合、入力加速度の増大に伴い、坑口のカルバートが周辺地盤より大きく振動する傾向が確認された。一方、プロトタイプ寸法で1.0m以上の土被りが確保されると、いずれの加振においても、カルバートは周辺地盤に追従して挙動したことが確認されている。土被り厚の増加によるカルバートに作用する拘束効果が、縦断方向の地震時応答に大きな影響を与える。本章では、カルバートの拘束圧を高める観点において土被りの重要性が示された一方で、実験において、土被りの増大に伴い盛土の変形量が増加し、盛土天端におけるクラックも拡大したため、土被り厚と盛土の変形の関係に対して留意する必要があるとも述べられている。</p> <p>第6章は、カルバート縦断方向の地震時挙動に関する有限要素解析について述べられている。一連の実験に基づき、連結様式は個々のカルバートの剛体運動、盛土形状はカルバートと地盤の滑り・剥離を含む相互作用と解釈することで、有限要素解析においてそれぞれの地震時効果を考慮可能であるとしている。本解析においては、連結条件をばね要素、カルバートと地盤の相互作用を弾完全塑性ジョイント要素によりそれぞれ表現した。解析ケースは、カルバート間の連結・分離と小土被り・大土被りを組み合わせた4ケースである。二次元動的解析の結果、盛土の変形に伴うカルバート間の目開きを再現し、第4章に示した動的遠心模型実験と同様の傾向を確認している。これにより、本手法について一定の妥当性を確認した後、同手法により三次元解析を実施している。解析の結果、二次元解析と同様に盛土の変形に伴うカルバート間の目開き状態を再現している。さらに、盛土形状の違いは、カルバートに及ぼす拘束効果の違いとして現れ、土被りが小さい場合カルバートに発生する応力は小さいが、カルバートに作用する拘束効果も小さくなりアーチ部材の変位が支配的な挙動になることを確認している。また、カルバート間を分離すると、カルバート縦断方向の地震動により、個々のアーチ頂部にせん断力が集中する様子が確認された。このように、提案手法により、実験により確認された連結条件および盛土形状により異なるカルバート躯体の応力状態と動的応答を表現可能であることを示し、さらに三次元動的解析手法としての適用性を示した。</p> <p>第7章においては、東日本大震災における損傷事例を分析することを目的に、特にアーチ部材の損傷と偏土圧条件に注目した三次元動的解析と遠心模型実験の結果を述べている。解析においては、カルバート縦横断方向の地震動を用いた動的解析を実施し、被災報告で確認されたアーチのねじれ変形とアーチ部材の応力状態の関係について考察している。解析結果によると、分離条件のカルバートにおいて、ねじれ方向のせん断変形に伴い、個々のアーチ部材頂部・脚部における対角位置に応力集中が発生することが確認され、東日本大震災におけるアーチ部材の損傷パターンと類似した応力状態が再現された。また、斜角のつくカルバート構造において坑口壁の左右非対称な変状や頂部ヒンジのずれが報告されたため、実験においては同構造をモデル化した動的実験を実施している。本実験により、カルバートおよび盛土の応答加速度を分析することで、偏土圧と坑口壁の変位モードの関係が整理されている。</p> <p>第8章においては、本論文の成果を要約し、今後の課題を纏めている。</p>			

氏 名	宮崎 祐輔
-----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本研究では、ヒンジ式プレキャストアーチカルバート縦断方向の地震時挙動の解明と、縦断方向の耐震性評価手法の開発を目的とした。カルバート縦断方向の地震時挙動に関し、設計条件に主眼を置いた動的遠心模型実験と動的有限要素解析をそれぞれ実施した。

本研究において得られた主な結論を以下に示す。

- 1) カルバートの連結様式は、カルバートの縦断方向のせん断剛性を支配し、カルバートを分離すると、個々のアーチ部材に応力集中が発生し、さらに盛土内において独立した挙動を許容することで目開きが発生する。
- 2) 盛土形状の影響は、カルバートに作用する拘束効果という形で現れ、土被りが小さいとカルバートを拘束する力が減少し、カルバートの加速度応答が大きくなるが、盛土から作用する応力は小さくなる。一方、土被りが大きい場合はその逆となる。
- 3) ばね要素とジョイント要素を用いた弾塑性有限要素法により、東日本大震災において発生した、アーチ部材端部における連続的な角欠けについても一定の考察を得た
- 4) ヒンジ式プレキャストアーチカルバート縦断方向の連結様式と盛土形状が、地震時におけるカルバートの応力状態、加速度応答、盛土の変形状態に及ぼす影響を解明し、耐震性評価手法の一例を示した。

以上、本論文は、ヒンジ式プレキャストアーチカルバート縦断方向の地震時挙動を明らかにするとともに、連結様式・盛土形状がカルバートの応力状態、加速度応答、盛土の変形状態に及ぼす影響を説明可能な三次元動的有限要素解析手法を提案し、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

